

Studienbücher
der technischen
Wissenschaften

Elektrische Maschinen

7. Auflage



TA

Dieses Buch beschreibt Aufbau, Wirkungsweise und Betriebsverhalten der rotierenden elektrischen Maschinen und der Transformatoren. Es ist zur Unterstützung der einschlägigen Vorlesungen im Hochschulbereich wie auch als Nachschlagewerk für den Praktiker gedacht. Mit Rücksicht auf die Leser in Österreich und der Schweiz sind neben den für das Fachgebiet wichtigen VDE-Bestimmungen und DIN-Normen auch die entsprechenden Vorschriften des Österreichischen Verbandes für Elektrotechnik (ÖVE-Bestimmungen) und des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SVE-Normen) aufgeführt. Besonderer Wert ist auf die Darstellung der Verfahren zur Drehzahlsteuerung der einzelnen Motortypen gelegt. Hier werden die engen Verbindungen zur Leistungselektronik gezeigt und die wichtigen Stromrichter-Techniken mit ihren besonderen Betriebsbedingungen für die Maschine behandelt. Entsprechend ihrem großen Anteil am Produktionsumfang enthalten auch die Kleinmaschinen der verschiedenen Bauarten eigene Abschnitte. Dies gilt auch für die Technik der Servomotoren mit dauermagnetotroten Gleichstrom- und Synchronmaschinen sowie für Schrittmotoren. Mit dieser 7. Auflage liegt wieder eine überarbeitete und etwas erweiterte Ausgabe des Buches vor. Zur Vertiefung des Stoffes sind den einzelnen Themenbereichen durchgerechnete Beispiele und nur mit Lösungen versehene Aufgaben zugeordnet.

ISBN 3-446-15600-3

Prof. Dr.-Ing. Rolf Fricke
Fachbereich „Elektrische Energietechnik“
Fachhochschule für Technik Esslingen

UNIVERSITÄT
BIBLIOTHEK
DUISBURG

90-09578

43 = X Z Q 1023 (7) +1

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Fricke, Rolf:
Elektrische Maschinen / von Rolf Fricke. -
2., überarb. Aufl. - München : Vieweg,
Brauer, 1985.

(Ständemäßiger der technischen
Wissenschaften)
ISBN 3-446-15003

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.
Alle Rechte, auch die der Übersetzung, der
Teile des Werkes, vorbehalten. Kein Teil des
Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des
Verlages in irgendeiner Form (Photokopie, Mikrofilm
oder durch andere Verfahren), auch nicht für
Zwecke der Unterrichtsvermittlung, -
reproduktion oder unter Verwendung elektronischer
Systeme vervielfältigt, verbreitet oder
sonstwie veröffentlicht werden.

© 1985 Carl Hanser Verlag, München, Wien
Satz und Druck: Appl. Wending
Umschlaggestaltung: Kauder & Partner
Printed in Germany

Vorwort

Das vorliegende Buch befaßt sich mit Aufbau, Wirkungsweise und Betriebsverhalten der elektrischen Maschinen und Transformatoren. Die Berechnungsverfahren für den Maschinenentwurf werden allein schon aus Platzgründen nicht behandelt. Es ist zudem auch zweckmäßig, diese nur einem eigenen Lehrstuhl interessierende Fachgebiet, das heute eng mit dem Einsatz elektronischer Rechentechniken verbunden ist, in einem eigenen Werk darzustellen.

Stoffauswahl und Umfang wurden nach dem Gesichtspunkt festgelegt, ein vorlesungs- begleitendes Buch für das Studium der elektrischen Maschinen im gesamten Hoch- schulbereich anzubieten. Daneben soll es aber auch dem in der Praxis stehenden Ingenieur bei der Aufzeichnung und Verfolgung seiner Fachkenntnis von Nutzen sein. Vorausgesetzt sind die höhere Mathematik der ersten Semester, die komplexe Rechnung und die allgemeinen Grundlagen der Elektrotechnik. Von besonderem Interesse werden Abschnitt einige besonders wichtige Gesetze und Regeln zusammengefaßt; teilweise werden hier Angaben zu Vertiefungen der elektrischen Maschinen und zum Einsatz von Dauermagneten gestellt.

Auf die Behandlung heute weniger wichtiger Maschinentypen wird bewusst verzichtet. Andererseits aber erhalten die Kleinmaschinen der verschiedensten Bauarten, zu denen auch Schalt- und Elektromotoren zu rechnen sind, eigene Abschnitte. Desgleiche gilt für spezielle Bauformen elektrischer Maschinen wie z. B. Linear- oder Synchron- und Asynchronmaschinen. Besonderer Wert ist auf die Darstellung der Maschinen der Leistungselektronik gelegt, wobei hier eingehend die Verbindungen zur Leistungselektronik gezeigt und dabei auftretende Maschineneffekte behandelt werden.

Im Bereich der Freileitung folgt das Buch weitgehend den Empfehlungen von DIN 40121. Bezugspunkte werden bei allen Ausführungen nach dem Verbrauchersystem (DIN 5489) gesetzt. Ein ausführliches Literaturverzeichnis ermöglicht bei weitem Teilgebieten einen ersten Zugang zu weiterführenden, speziellen Veröffentlichungen.

Esslingen, Frühjahr 1989
Rolf Fricke

Die Leiterstränge in Bild 4.1 sind daher wie gekennzeichnet gleichmäßig auf die drei Wicklungsstränge aufzuteilen, von denen jeder ein Drittel der Pfortstellung bezieht.

In Bild 4.2 ist die Lage der Leiter in Bezug auf den Fluidichtverlauf entlang des Bohrungsumfanges angegeben. Man erkennt, daß entsprechend der Bezeichnung $u = B \cdot f \cdot p$ in um eine Polteilung versetzten Leitern eine gleichgroße aber um 180° phasenverschiebende Spannung entsteht.

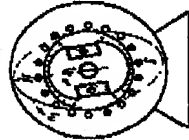


Bild 4.1 Erzeugung einer Polpaarspannung durch ein räumlich sinusförmiges Errederfeld (Die gleichgetakteten Leiter gehören jeweils zu einem Wicklungsstrang)

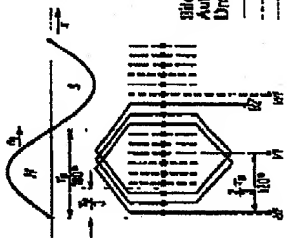


Bild 4.2 Primärpoler Außen einer Drehstromwicklung
— 1. Strang
--- 2. Strang
--- 3. Strang

Elaschewicklungen. Die Schaltung der Leiter eines Strangs zu einer Spulengruppe pro Polpaar kann auf zwei Arten erfolgen, was am Beispiel eines vierpoligen Ständers mit 24 Nuten gezeigt werden soll.

1. Man verbindet stets Leiter miteinander, deren Abstand mit $W = f_p$ genau der Polteilung entspricht. Es ergeben sich dann wie in Bild 4.3 gezeigt Spulen gleicher Weite.
2. Die gleichen Leiter eines Strangs werden wie in Bild 4.4 zu einer konzentrischen Spulengruppe verbunden. Die Teilspulen haben jetzt eine ungleiche Weite und man erreicht nur im Mittel $W = f_p$.

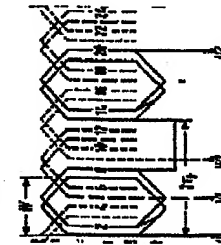


Bild 4.3 Elaschewicklung mit Spulen gleicher Weite
 $p=2, q=2, N=24$

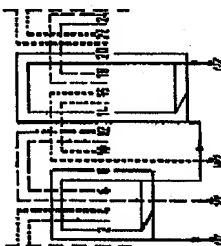


Bild 4.4 Elaschewicklung mit Spulen ungleicher Weite (Zweipolwicklung)
 $p=2, q=2, N=24$

4.1 Drehstromwicklungen

Beide Ausführungsformen ergeben dieselbe Gesamtspannung und unterscheiden sich nur im Wickelkopf. Mit Rücksicht auf die maschinelle Fertigung in Wicklungsautomaten verwendet man heute bei Seifenmaschinen immer die Ausführung mit konzentrischen Spulen, d.h. nach Bild 4.4.

Ist N die gesamte Ständernutzahl und m die Strangzahl einer Drehstromwicklung, so enthalten innerhalb einer Polteilung

$$q = \frac{N}{2p \cdot m} \quad (4.3)$$

Nuten auf einen Strang. Enthält die Nutzahl nicht parallelgeschaltete Leiter, so gilt für die gesamte Windungszahl eines Strangs

$$W = \frac{2 \cdot N}{2p \cdot m} = 2 \cdot p \cdot q \quad (4.4)$$

Die bisher angegebenen Wicklungen bezeichnet man als Elaschewicklungen, da je nur eine Spulenreihe mit eventuell 2 Einzelschleifen in jeder Nut liegt. Die Spulenweite muß hier im Mittel genau eine Polteilung betragen, da bei einem kürzesten Schritt die Rechtecke teilweise den Platz der Spulenenden eines anderen Strangs einnehmen würden. Elaschewicklungen sind somit stets Durchmesservicklungen mit $W = f_p$.

Beispiel 19: Gegeben ist ein Ständerblech mit 48 Nuten, die Runddrähte von einem Gesamtdurchmesser von 35,4 mm² und einem Einzeldrahtdurchmesser von maximal 2 mm aufbewahren können. Es ist eine vierpolige ungetaktete Drehstromwicklung mit 88 Wdg./Strang auszuwickeln und der zulässige Strangstrom bei $J = 4 \text{ A/mm}^2$ anzugeben.

Nach Gleichung (4.3) wird die Zahl der Nuten pro Pol und Strang

$$q = \frac{N}{2p \cdot m} = \frac{48}{2 \cdot 2 \cdot 2} = 6$$

Um 88 Wdg. zu erhalten, sind durch $\tau = \frac{W}{p \cdot q} = \frac{88}{2 \cdot 2} = 22$ Drähte in Reihe zu schalten.

Für eine Windung verbleibt ein Querschnitt von

$$\frac{A_{\text{Dr}}}{2} = \frac{35,4 \text{ mm}^2}{2} = 17,7 \text{ mm}^2$$

Für einen Leiter ergibt dies einen Durchmesser $d > 2 \text{ mm}$, so daß zwei Runddrähte mit $A_{\text{Dr}} = 17,7 \text{ mm}^2$ Querschnitt und

$$d = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot A_{\text{Dr}}} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot 17,7 \text{ mm}^2} = 4,77 \text{ mm}$$

parallelgeschaltet sind. Der zulässige Ständerstrom wird

$$I_{\text{Dr}} = 2 \cdot 2 \cdot 4 \text{ A/mm}^2 = 16 \text{ A}$$

Aufgabe: Welche Windungszahl kann bei 20 Leitern/Nut für eine schipolige Wicklung bei $N=48$ maximal erreicht werden?

Ergebnis: $W=160 \text{ Wdg.}$